Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 2, Summer 2023, p. 337-350

Effectiveness of Acid Gibberellic and Magnetic Field on Shelf Life and Post-Harvest Life of Strawberry cv. Selva under Temperature Stress Conditions

M.R. Zandi[1], A.H. Aboutalebi Jahromi[2*], B. Behroznam[3], A.R. Zakerin[4]

Received: 28-12-2021 Revised: 02-10-2022 Accepted: 03-10-2022 Available Online: 03-10-2022	**How to cite this article:** Zandi, M.R., Aboutalebi Jahromi, A.H., Behroznam, B., & Zakerin, A.R. (2023). Effectiveness of acid gibberellic and magnetic field on shelf life and post-harvest life of strawberry cv. Selva under temperature stress conditions. *Journal of Horticultural Science, 37*(2), 337-350. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.74406.1121

Introduction

Strawberry is one of the most important small fruits in the world, which is cultivated as a perennial plant in temperate regions of the world. Ripe strawberry fruit contains compounds such as protein, fiber, sugars such as fructose, glucose, sucrose, organic acids, vitamins, minerals, as well as phenolic compounds and anthocyanins. The aim of this study was to investigate some hormonal treatments and magnetic field on some physiological and biochemical characteristics, shelf life and postharvest life of strawberry cv. Selva under temperature stress.

Materials and Methods

This experiment was performed as a split plot based on a completely randomized design with 3 replications. Physiological and biochemical characteristics were studied on several tissues of Selva strawberry cultivar under several different temperature treatments. The treatments were gibberellic acid at three levels of control, 50 and 100mg/l in the main plots, magnetic field at 3 levels of control, 10 and 20ms, in the subplots and temperature stress in three levels including 2, 8 and 20°C. It was done on strawberries in subplots. Healthy prepared strawberry fruits were subjected to magnetic treatments and then immersed in hormonal solutions for 2min and after drying, stored for 8 days in different refrigerators at temperatures according to research treatments. The samples were then removed from the refrigerator and transferred to a laboratory to measure various characteristics. The studied traits included: fruit weight, fruit diameter, fruit length, fruit moisture content, titratable acidity, fruit juice pH and vitamin C.

Results and Discussion

Results of analysis of variance showed that the simple and triple interactions of treatments on all studied traits were significant. Comparison of the mean triple interaction of gibberellic acid treatment × magnetic field × temperature showed that the highest amount of fruit weight (19.49g), the highest amount of fruit diameter (33.7mm), the highest fruit length (48.62mm), the highest fruit moisture (34.65%) was obtained in the treatment of 50mg/l gibberellic acid, ten Tesla magnetic field and a temperature of eight degrees Celsius. The lowest fruit weight of 10.65 g was obtained in the treatment of non-use of gibberellic acid, non-use of magnetic field and temperature of 20°C. The lowest fruit weight loss of 3.74% was obtained in the treatment of 50 mg/l gibberellic acid, 20 Tesla magnetic field and 2°C. The lowest fruit diameter of 21.52mm was obtained in the treatment of non-consumption of gibberellic acid, absence of magnetic field and temperature of 20°C. The lowest fruit length of 25.63 mm was obtained in the treatment of no gibberellic acid, no magnetic field and a temperature of 20°C. The lowest amount of titratable acidity (0.31%), the lowest pH of fruit juice (4.68) and the highest amount of vitamin C (34.92mg/100 ml) in the treatment of non-use of gibberellic acid, no use of field Magnetic and a

1, 2, 3 and 4- Ph.D. Student, Associate Professor and Assistant Professors of Horticultural Science, Jahrom Branch, Islamic Azad University, Jahrom, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: aboutalebi@jia.ac.ir)
DOI: 10.22067/jhs.2022.74406.1121

temperature of 20°C were obtained. The lowest amount of vitamin C was equal to 20.5mg/100ml in the treatment of no use of gibberellic acid, no use of magnetic field and a temperature of 20°C.High concentrations of gibberellic acid have a beneficial effect on increasing cell division and fruit size. Gibberellic acid increases fruit size and weight due to its effect on increasing cell division in the early stages of fruit development and increasing cell size at late fruit ripening. Magnetic field also affects plant metabolic activity. Fruit volume includes fruit length. It decreases due to the magnetic field. Fruit weight showed a significant positive correlation with fruit diameter, fruit length, fruit moisture and vitamin C. In terms of the triple interaction of the research treatments, the best effective treatment for increasing the storage time of strawberries was the combined treatment of 50 mg/l gibberellic acid and ten Tesla magnetic field and a temperature of 8°C.

Conclusion

Fruit weight showed a significant positive correlation with fruit diameter, fruit height, fruit moisture and vitamin C. In terms of the triple interaction of the research treatments, the best effective treatment for increasing the storage time of strawberries was the combined treatment of 50 mg/l gibberellic acid and ten Tesla magnetic field at a temperature of 8°C.

Keywords: Fruit length, Fruit diameter, Shelf life, Titratable acidity, Vitamin C

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۲، تابستان ۱٤۰۲، ص. ۳۵۰-۳۳۷

اثر جیبرلیک‌اسید و میدان مغناطیسی بر ماندگاری توت‌فرنگی رقم 'سلوا' در شرایط تنش دمایی

محمدرضا زندی[1]- عبدالحسین ابوطالبی جهرمی[2]*- بهنام بهروزنام[3]- عبدالرسول ذاکرین[4]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۱

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی تیمار هورمونی جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی بر صفات مرتبط با ماندگاری توت فرنگی رقم'سلوا'، در شرایط تنش دمایی، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای تحقیق شامل جیبرلیک اسید در سه سطح شاهد (صفر)، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، میدان مغناطیسی در ۳ سطح شاهد،۱۰ و ۲۰ میلی‌تسلا و تنش دمایی در سه سطح ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بودند. میوه‌های توت فرنگی رقم 'سلوا' تحت تأثیر تیمارهای مغناطیسی قرار داده شد و سپس به مدت ۲ دقیقه در محلول هورمونی جیبرلیک اسید غوطه‌ور و پس از خشک کردن، به مدت ۸ روز در یخچال‌های مختلف با دماهای مطابق با تیمارهای پژوهش نگهداری شدند. صفات مورد بررسی شامل وزن میوه، قطر میوه، طول میوه، درصد رطوبت میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون، pH آب‌میوه و ویتامین C بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل سه‌گانه تیمارها بر تمام صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما نشان داد که بیشترین مقدار وزن میوه (۱۹/۴۹ گرم)، بیشترین مقدار قطر میوه (۳۳/۷ میلی‌متر)، بیشترین طول میوه (۴۸/۶۲ میلی‌متر)، بیشترین مقدار رطوبت میوه (۳۴/۶۵ درصد)، در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد حاصل گردید. کمترین مقدار وزن میوه (۱۰/۶۵ گرم) در تیمار بدون جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار کاهش وزن میوه (۳/۷۴ درصد) در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار قطر میوه (۲۱/۵۲ میلی‌متر)، کمترین مقدار طول میوه (۲۵/۶۳ میلی‌متر) در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون (۰/۳۱ درصد)، کمترین مقدار pH آب میوه (۴/۶۸) و بیشترین مقدار ویتامین C (۳۴/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار ویتامین C نیز معادل ۵/۲۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. از لحاظ اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای پژوهش، بهترین تیمار مؤثر بر افزایش مدت زمان نگهداری توت فرنگی، تیمار ترکیبی مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بود.

واژه‌های کلیدی: اسیدیته قابل تیتراسیون، قطر میوه، ماندگاری، ویتامین C

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیاران گروه علوم باغبانی، واحد جهرم، دانشگاه ازاد اسلامی، جهرم، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: aboutalebi@jia.ac.ir)

DOI: 10.22067/jhs.2022.74406.1121

مقدمه

توت فرنگی بـا نـام علمـی *Fragaria × ananassa* یکـی از اعضـای تیـره Rosacea و میـوه‌ای نـافرازگرا اسـت (Phalsaphy, 2012). ایران رتبه هجدهم را در تولید تـوت فرنگـی جهـان دارد، بـه طوری‌که در سال ۱۳۹۰ از ۴۰۸۰۰۰۰ تن تولید جهانی، حدود ۴۲۰۰۰ تن توت فرنگی در ایران تولید شد (Pietruszewski, 1996). قنـدها، اسیدهای آلی و ترکیبات معطر در طعم توت فرنگی نقش مهمی دارند و کیفیت این میوه به وضـعیت ظـاهری، بافـت، عطـر، طعـم و ارزش تغذیه‌ای آن بستگی دارد (Phalsaphy, 2012). توت فرنگی به دلیل داشتن بافت نرم و میزان تنفس بالا، مقـدارآب فـراوان (حـدود ۹۱٪)، فعالیت متابولیکی بالا و حساسیت بـه فسـاد قـارچی زمـان نگهـداری کوتاهی دارد (Watanabe *et al*., 2008).

در سال‌های اخیر تلاش‌های فراوانی در راستای افزایش ماندگاری میوه توت فرنگی و حفـظ ارزش تغذیـه‌ای آن در زمـان انبارمـانی بـا روش‌هایی غیر از استفاده از قارچ‌کش‌ها صورت گرفته است (Çetin, 2002). محققان افزایش زمان نگهداری این میوه را بـا بـه کـارگیری روش‌هایی مانند اتمسفر کنترل شده (Wszelaki, 2003)، اسـتفاده از ترکیبات حـاوی کلسـیم (Marinkovic *et al*., 2014) و اسـتفاده از امواج فراصوت (Khoshkhoi *et al*., 2007) گزارش نموده‌اند. یکـی از روش‌های مناسب و عملیاتی برای افزایش مانـدگاری ایـن میـوه و جلوگیری از گسترش آسیب بافت آن، کاربرد پوشش‌های تهیه شده بر پایه پلیمرهای طبیعی است به‌طوری که امروزه، در بسته‌بنـدی برخـی مواد غذایی، پوشش‌های خوراکی جایگزین پوشش‌های سنتزی شده و انواع مختلفی از پلی‌ساکاریدها در ساخت پوشش‌های خوراکی نیـز بـه کار رفته‌اند (Wszelaki, 2003). با توجه به ایمن نبـودن روش‌هـای شیمیایی نگهداری توت فرنگی، محققین به دنبـال روش‌هـای ایمـن نگهداری و افزایش عمر پس از برداشت این میوه می‌باشند. ترکیبـاتی مانند جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی مـی‌توانـد محققـین را در راه رسیدن به این هدف یاری نماید (Wszelaki, 2003). تـوت فرنگـی برای گلدهی، نیاز به روز کوتاه و دمای پایین دارد که تیمار جیبرلیـک اسید می‌تواند جایگزین هر دوی اینها شود و همچنـین رشـد میـوه را افزایش دهد (Khan Kashi *et al*., 2019). تیمار پـاکلوبوترازول در زمان مناسب، رشد رویشی طبیعی گیاه را کاهش داده و رشد زایشی را افزایش می‌دهد. ضمناً هر کـدام از ارقـام تـوت فرنگـی بـا توجـه بـه وضـعیت هورمـونی خـود، واکـنش متفـاوتی دارنـد (Sindhus and Singhrot, 1993). جیبرلیک‌اسید نقش‌های گوناگونی را در گیاهـان بر عهـده دارد (Khabazipour *et al*., 2014). طبـق گـزارش‌هـای موجود (Andrews and Li, 1995)، جیبرلیک اسید با کاهش فعالیت آنزیم‌های پلیگالاکتروناز و پکتـین متیـل اسـتراز و همچنـین تنظـیم فعالیت آنزیم‌های هیدرولیتیک دیواره سلولی که بر نرم شـدگی میـوه مؤثر می‌باشد، باعث حفـظ سـفتی بافـت میـوه در گـیلاس مـی‌شـود (Riberio *et al*., 2007). فـاکتیو و همکـاران (Facteau *et al*., 2007) اعلام کردند، افزایش سفتی در گیلاس تیمار شده با جیبرلیک اسید مربوط به افزایش مواد جامد نامحلول در الکلیا به علت بالا بودن پکتین‌های محلول در پکتیناز و کمبود پکتین‌های محلول در آب است (Florez *et al*., 2007). تیمار با جیبرلیک اسید در میوه‌هـای گوجـه فرنگی (Perez and Gomez, 2000) و تـوت فرنگـی (Raso and Heinz, 2007) تحریک تولید اتیلن و توسعه رنگ را به تأخیر انداخته و می‌تواند به طور مستقیم بر رسیدگی میوه تأثیرگذار باشد که می‌تواند به علت مقاومت نفوذی کم پوست و میزان تنفس بالا باشد (Dhawi *et al*., 2009). به نظر می‌رسد که جیبرلیک اسید از طریـق افـزایش سفتی، کاهش سرعت تنفس و کـاهش تولیـد اتـیلن و فعالیـت‌هـای متابولیکی، از کـاهش وزن میـوه جلـوگیری مـی‌کنـد (Mohamed, 2004). تحریک گیاهان با استفاده از میدان‌های مغناطیسی، به عنوان راهی جهت افزایش کمیت و کیفیت عملکرد مورد توجه قـرار گرفتـه است. بنابراین جایگزینی کودها و مکمل‌های شـیمیایی بـا تیمارهـای فیزیکی، میزان سموم را در مـواد خـام گیـاهی کـاهش داده و باعـث افزایش سلامت غذا و محـیط مـی‌گـردد (Aladjadjiyan, 2007 و Wszelaki, 200). میـدان‌هـای الکترومغناطیسـی مجموعـه‌ای از میدان‌های الکتریکی و میدان‌های مغناطیسی هستند که سبب القـای میدان الکتریکی در بافت می‌شود و اثرات زیستی منتسـب بـه میـدان الکتریکی به میدان مغناطیسی نیز قابل تعمیم است (Saberi *et al*., 2014). به نظر می‌رسد که میدان‌های مغناطیسی اثرگـذاری بیشـتری نسبت به میدان‌های الکتریکی روی بافت زنده دارند. بدین مفهوم کـه میدان‌های الکتریکی از درون سلول گذر نموده و سـلول در مقابـل آن مانند یک خازن عمل می‌نماید. اما میـدان‌هـای مغناطیسـی بـه درون سلول نفوذ کرده و زمـان اثرگـذاری آنهـا طـولانی‌تـر اسـت. میـدان مغناطیسی متغیر طبق قـانون القـای فـارادی در بافـت تولیـد میـدان الکتریکی می‌نماید و در نتیجه جریان گردابی در مسیر حلقـوی عمـود بر جهت میدان مغناطیسی تولید خواهـد نمـود (El-Kosavi, 2009). گزارش شده است که میدان مغناطیسی هـم فعالیـت یـون‌هـا و هـم قطبیت ملکول‌های دو قطبی را در سلول‌های زنده تحـت تـأثیر قـرار می‌دهد (Efe *et al*., 2004). خانکشی و همکاران (Khan Kashi *et al*., 2019) در مقایسه اثر ضخامت پلی‌اتیلن، ترکیب گازی و دمـا بـر زمان ماندگاری و کیفیت توت فرنگی،گزارش کردند که دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به‌دلیل کاهش تنفس، تبخیر و تعرق در حفـظ خصوصـیات کمی و کیفی توت فرنگی بهتر از دمای ۸ درجهٔ سانتی‌گراد عمل کرد، در نتیجه توت فرنگی‌هایی که در پوشش پلـی‌اتـیلن بـا ضـخامت ۹۰ میکرون و ترکیب گازی اول در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد بسـته‌بنـدی

شدند بهترین کیفیت و بالاترین ماندگاری را داشتند (Khoshkhoi *et al.*, 2007). با عنایت بـه مصـرف بـالای تـوت فرنگـی در کشـور و شرایط بهینه پرورش و تولید این محصول، لازم است تحقیقات علمی در راستای روش‌های نگهداری و افزایش عمر ماندگاری این محصول انجام گردد که هدف این تحقیق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ماده گیاهی و محل پژوهش

این آزمایش در سال ۱۳۹۹ در شهر شیراز با مختصات جغرافیـائی ۳۲ درجه و ۴۹ دقیقه طـول شـرقی و ۳۸ درجـه و ۲۷ دقیقـه عـرض شمالی انجام شد. توت فرنگـی رقـم 'سـلوا'[۱] از گلخانـه‌ای در منطقـه ظفرآباد شیراز تهیه گردید. برای بررسی صـفات مـرتبط بـا مانـدگاری توت فرنگی، آزمایشی به شرح زیر انجام شد. تیمارهای تحقیق شـامل جیبرلیک اسید در سه سطح G_1 (شاهد)، G_2 (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و G_3(۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر)، میدان مغناطیسی در سه سطح S_1 (شاهد)، S_2 (۱۰ میلی‌تسلا) و S_3 (۲۰ میلی‌تسلا)، و تنش دمایی در سه سـطح H_1، H_2 و H_3 شامل ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد بـر روی میـوه تـوت فرنگی انجام شد. میوه‌های سالم توت فرنگی از گلخانه برداشت شد و در آزمایشگاه، میوه‌ها درون دو استوانه از جنس پلی‌وینیـل کلرایـد بـه قطر ۲۰ و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری که در استوانه شماره یـک، ۳۰۰ دور و بر روی استوانه شماره دو، ۴۴۵ دور سیم مسـی بـه ضـخامت یـک میلی‌متر پیچیده شد. استوانه‌ها به مداری با جریان الکتریکی ۰/۱ آمپر متصل شدند. سپس میوه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه تحت تـأثیر تیمارهـای میدان مغناطیسی سـطح S_1 (شـاهد)، S_2 (۱۰ میلـی‌تسـلا) و S_3 (۲۰ میلی‌تسلا)، قرار گرفتند و ۲ دقیقه به صورت غوطـه‌وری در محلـول هورمونی جیبرلیک اسید قرار داده شدند. پـس از انجـام پـیش تیمـار هورمونی، میوه‌ها از محلول خارج شده و در هوای آزمایشگاه، خشـک شـدند و بـه مـدت ۸ روز در انبارهـای ۲، ۸ و ۲۰ درجـه سـانتی‌گـراد نگهداری گردید. پس از آن، نمونه‌ها از انبار خارج شده و صـفات زیـر اندازه‌گیری شدند.

درصد کاهش وزن میوه

درصد کاهش وزن میوه بر اساس اختلاف وزن اولیه و وزن ثانویه (پس از خارج شدن از آون) و بـا اسـتفاده از تـرازوی دیجیتـالی مـدل ۳۰۳۱ اس‌آی‌اس ساخت کشور ایران اندازه‌گیری شـد. بـدین منظـور ۱۰۰ گرم نمونه از میوه توت فرنگی را وزن کرده و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۷۲ ساعت قرار داده تا خشک شد. درصـد کاهش وزن بر اساس رابطه زیر محاسبه شد.

۱۰۰ × وزن اولیه / وزن ثانویه – وزن اولیه = درصد کاهش وزن میوه

قطر، طول و درصد رطوبت میوه

قطر و طول میوه‌ها با استفاده از کـولیس مـدرج بـا دقـت ۰/۰۲ میلی‌متر قرائت و در جدول داده‌ها ثبت گردید. برای اندازه‌گیری درصد رطوبت، میزان ۱۰۰ گرم از میوه توت فرنگی را وزن کرده و در دمـای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون به مدت ۷۲ ساعت قـرار داده تـا خشـک شود و سپس با استفاده از فرمول زیر، درصد رطوبت محاسبه شد.

۱۰۰× (وزن خشک نمونه – وزن اولیه نمونه) = درصد رطوبت میوه

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه را توسط پیپ داخل ظرف شیشه ای ریخته و به آن ۲۰ تا ۴۰ میلی‌لیتـرآب مقطـر اضـافه شـد. داخـل محلول ۲ قطره معرف فنول فتالئین ۰/۱ درصد اضافه و سـپس عمـل سنجش حجمی (تیتراسیون) توسط هیدروکسیدسدیم ۰/۱ نرمال انجام شد. هنگامی که رنگ محلول حاوی عصـاره میـوه بـه قرمـز روشـن تبدیل شد، عمل تیتراسیون خاتمه یافت. بـرای تهیـه محلـول فنـول فتالئین ۰/۱ درصد مقدار یک گرم از پودر آن را در اتـانول ۹۰ درصـد حل کرده و حجم محلول به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. بر اساس مقدار هیدرکسیدسدیم مصرف شـده در عمـل تیتراسـیون، مقـدار اسـید در عصاره میوه به صورت گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در عصاره میوه محاسـبه گردید (Bakhshabadi *et al.*, 2017).

ویتامین C

اندازه‌گیری ویتـامین C بـه روش تیتراسـیون انجـام شـد. بـدین منظور، ۲۵ گرم میوه را آب‌گیری کرده و پـس از صـاف کـردن آن، ۲ میلی‌لیتر از آن را با ۲ میلی‌لیتر کلرو استیک اسـید ۵ درصـد مخلـوط کرده و سپس تیتراسیون با معرف ۲ و ۶ کلرو ایندو فنول تا زمان تغییر رنگ محلول از آبـی بـه صـورتی انجـام گرفـت. میـزان ویتـامین C برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه بیان شد (Cao *et al.*, 2010).

pH آب میوه

pH عصاره میوه پس از عصاره‌گیری بـا اسـتفاده از دسـتگاه pH سنج اندازه‌گیری شد.

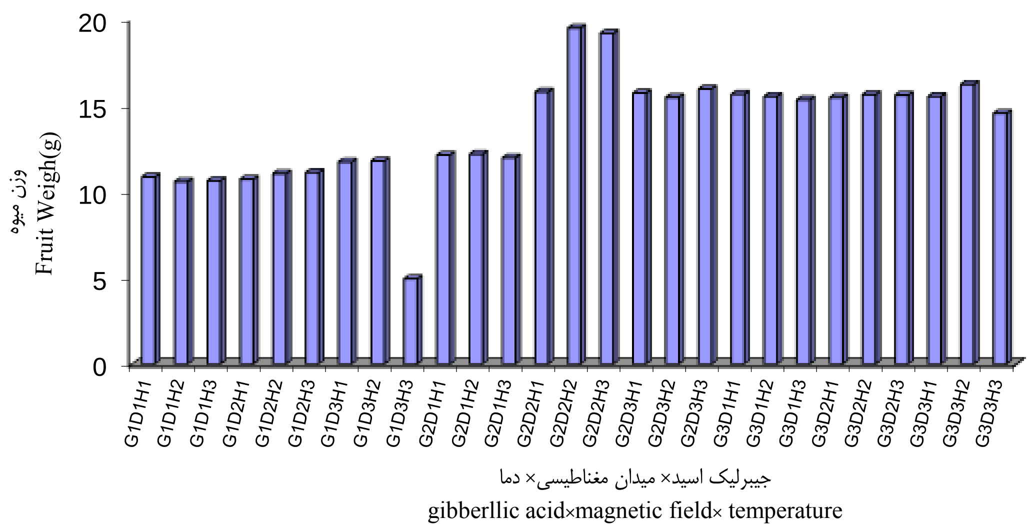
آنالیز داده‌ها

آزمایش به صورت اسپلیت اسپلیت پـلات بـر پایـه طـرح کـاملاً تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افـزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون کمترین اخـتلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتیجه و بحث

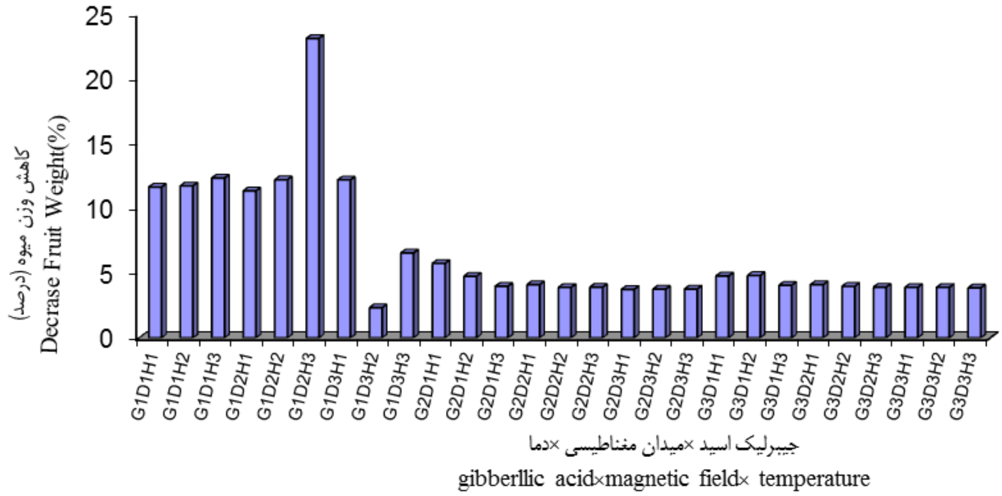
وزن میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و تنش دمایی بر وزن میوه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار وزن میوه در تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد، معادل ۱۹/۴۹ گرم حاصل شد که با تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در یک کلاس آماری (کلاس a) قرار داشت و اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار وزن میوه نیز معادل ۱۰/۶۵ گرم در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (شکل ۱). جیبرلین‌ها نقش فعالی در تقسیم و افزایش سلولی دارند. علاوه بر این، استفاده از تنظیم کننده‌های رشد پس از گلدهی، باعث افزایش وزن میوه می‌شود (Watanabe *et al*., 2008). در پژوهشی روی میوه گواوا جیبرلیک اسید، سبب افزایش وزن میوه و وزن مخصوص شد (Çetin, 2002). برهماچاری ورانی (Brahmachari and Rani, 2005) پیشنهاد کردند که جیبرلیک اسید و کینتین در افزایش حفظ کیفیت میوه‌های گواوا مفید هستند، همچنین استفاده برونزا از تنظیم کننده‌های رشد، افت وزن میوه را به میزان قابل توجهی کاهش میدهد و منجر به افزایش تعداد کل میوه‌ها و وزن میوه در گیاهان می‌شود (Brahmachari and Rani, 2005). افزایش وزن میوه ممکن است به دلیل هورمون جهت انتقال و تجمع کربوهیدرات باشد که منجر به رشد بهتر میوه و همچنین تسریع تقسیم سلولی و بزرگ شدن می‌شود (Majd and Shabrangi, 2009). مشاهدات مشابهی توسط دائولتا وبنیوال (Daulta and Beniwal, 1983) گزارش شد که حداکثر وزن میوه نارنگی را با تیمار شده جیبرلیک اسید مشاهده شد (Daulta and Beniwal, 1983). همچنین جیبرلیک اسید نیز با اثر بر فعالیت آنزیم‌ها در حفظ شادابی و افزایش مدت زمان نگهداری میوه بر اساس صفات مورد مطالعه در این تحقیق، اثر معنی‌دار نشان داد. به نظر می‌رسد بر اساس یک پژوهش (Bakhshabadi *et al*., 2017)، عملیات مغناطیسی با تحت‌تأثیر قرار دادن فرایندهای بیوشیمیایی که رادیکال‌های آزاد را در برمی‌گیرند و همچنین با تحریک فعالیت پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، انرژی یا توان گیاهان را افزایش می‌دهند. استیکن و توران (Esitken and Turan, 2004) سازوکار میدان مغناطیسی را به فعال کردن هورمون‌های گیاهی ربط داده‌اند (Esna-Ashari and Zokaee Khosroshahi, 2009). آنها همچنین معتقدند میدان مغناطیسی، ساختار غشای سلول‌های گیاهی را به منظور جذب آب و مواد مغذی بیشتر تغییر می‌دهد، لذا در این تحقیق مشاهده شد که میدان مغناطیسی بر وزن میوه اثر معنی‌دار نشان داد.



شکل ۱- اثر متقابل کاربرد جیبرلیک اسید× میدان مغناطیسی × دما بر وزن میوه توت فرنگی رقم 'سلوا'

Figure 1- The interaction effect of gibberellic acid× magnetic field ×temperature application on the fruit weight of strawberry cv. Selva (LSD, *p≤0.05*)



شکل ۲- اثر متقابل کاربرد جیبرلیک اسید× میدان مغناطیسی × دما بر کاهش وزن میوه توت فرنگی رقم 'سلوا'

Figure 2- The interaction effect of gibberellic acid× magnetic field ×temperature application on the decrease fruit weight of strawberry cv. Selva (LSD, *p≤0.05*)

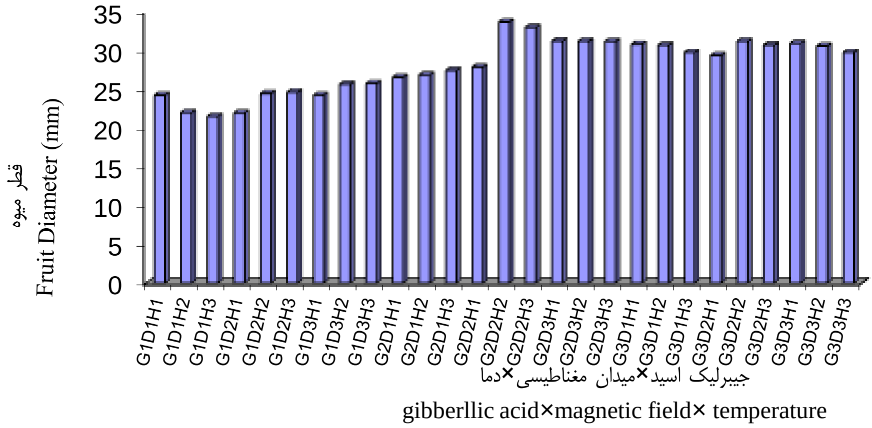
کاهش وزن میوه

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین کاهش وزن میوه نشان داد که بیشترین مقدار درصد کاهش وزن میوه، در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی و دمای بیست درجه سانتی‌گراد معادل ۱۲/۳۴ درصد حاصل شد که با تیمارهای عدم مصرف جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد، عدم مصرف جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، عدم مصرف جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد، عدم مصرف جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد در یک کلاس آماری (کلاس a) قرار داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار کاهش وزن میوه نیز معادل ۳/۷۴ درصد در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی ۲۰ میلی‌تسلا و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (شکل ۲). جیبرلیک اسید به صورت یک ضد حساسیت و ضد عرق عمل می کند که فعالیت کاتابولیک را مهار کرده و در نتیجه، کاهش وزن را در حین نگهداری کاهش می‌دهد (Zomo *et al*., 2014). این یافته‌ها مطابق با گزارش‌هایی در لیمو (Dhawi *et al*., 2009)، گواوا (Zomo *et al*., 2014) و نارنگی (Khabazipour *et al*., 2014) است که کاهش در کاهش وزن میوه‌ها در طول ذخیره‌سازی مطابقت دارد. ذرات مواد آلی و معدنی در اغلب قسمت‌های بافت، قطبی هستند. بنظر می‌رسد یک میدان مغناطیسی خارجی روی سرعت و جهت جایگزینی ذرات قطبی شده تاثیر گذارد. در نتیجه ممکن است اثر زیادی در سرعت و جهت بعضی فرایندهای زنده در گیاه داشته باشد. صعود کاپیلاری در مکانیسم انتقال مواد در بافت‌های زنده نیز ممکن است توسط میدان مغناطیسی تغییر یابد (Facteau *et al*., 2003).

قطر میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید و دما در سطح آماری ۱ درصد و اثر ساده میدان مغناطیسی در سطح ۵ درصد بر قطر میوه اثر معنی‌دار داشت. اثرات متقابل دوگانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی و همچنین جیبرلیک اسید × دما در سطح آماری ۱ درصد ولی اثر متقابل دوگانه میدان مغناطیسی × دما در سطح آماری ۵ درصد بر وزن میوه معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما نیز بر وزن میوه در سطح آماری ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین قطر میوه نشان داد که بیشترین مقدار درصد قطر میوه، در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۳۳/۷ میلی‌متر حاصل شد که با تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در یک کلاس آماری (کلاس a) قرار داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار قطر میوه نیز معادل ۲۱/۵۲ میلی‌متر در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (شکل ۳). گزارش شده است جیبرلیک اسید از طریق تشدید جریان مواد قندی به درون میوه و یا ممانعت از خروج این مواد از درون سلول می‌گردد (Majd and Shabrangi, 2009). جیبرلیک اسید

آنزیم‌های اینورتاز و ان‌آد دپینـــدنت ســوربیتول دهیــدروژناز را فعـال نموده و سبب تجزیه قند در سلول‌های میوه می‌شود. تجمـع قنـدهای احیا کننده پتانسیل آب شـیره سلولی را منفی‌تر نموده و باعث جریـان بیشتر آب به درون سلول‌ها میگردد و از این طریق اندازه نهایی میـوه افزایش می‌یابد (Zomo *et al*., 2014). محمد (Mohamed, 2004) گزارش داد محلول‌پاشی درختان انار با اسید جیبرلیک در غلظت‌هـای ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب افزایش وزن میوه‌های انـار گردید (Ozkan *et el*., 2016). به نظر می‌رسد غلظـت‌هـای بـالای جیبرلیک اسید تاثیر بسزایی بر افزایش تقسـیم سـلولی و قطـر میـوه داشته است (Esna-Ashari and Zokaee Khosroshahi, 2009).

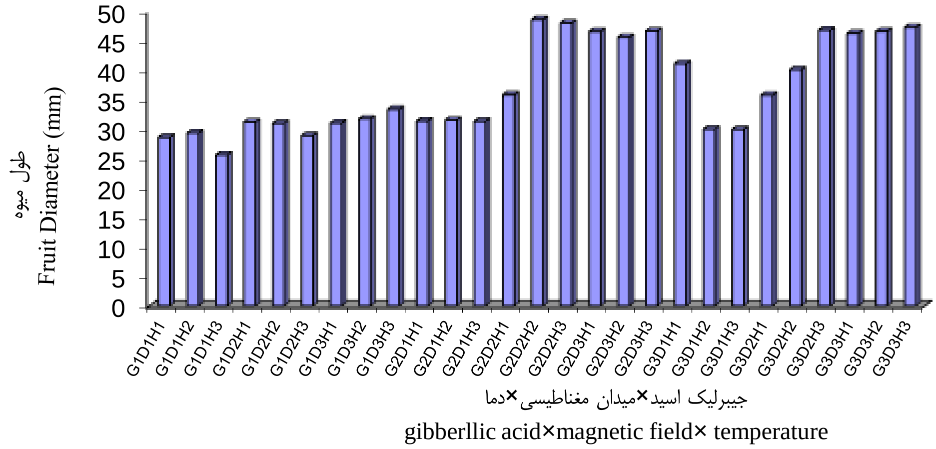


شکل ۳- اثر متقابل کاربرد جیبرلیک اسید× میدان مغناطیسی × دما بر قطر میوه توت فرنگی رقم 'سلوا'

Figure 3- The interaction effect of gibberellic acid× magnetic field ×temperature on the fruit diameter of strawberry cv. Selva (LSD, *p≤0.05*)

قطر میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیـک اسـید و دمـا در سـطح آماری ۱ درصد و اثر ساده میدان مغناطیسی در سطح ۵ درصد بر قطر میوه اثر معنی‌دار داشت. اثرات متقابل دوگانه جیبرلیک اسید × میـدان مغناطیسی و همچنین جیبرلیک اسید × دما در سطح آماری ۱ درصـد ولی اثر متقابل دوگانه میـدان مغناطیسـی × دمـا در سـطح آمـاری ۵ درصد بر وزن میوه معنی‌دار بود. اثر متقابل سه‌گانه جیبرلیـک اسـید × میدان مغناطیسی × دما نیز بـر وزن میـوه در سـطح آمـاری ۱ درصـد معنی‌دار شد (جدول ۱). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانـه تیمـار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما بـرای میـانگین قطـر میـوه نشان داد که بیشترین مقدار درصد قطـر میـوه، در تیمـار مصـرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلـی‌تسـلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۳۳/۷ میلی‌متر حاصل شد که با تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسـید و میـدان مغناطیسـی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در یک کلاس آماری (کلاس a) قرار داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقـدار قطـر میوه نیز معادل ۲۱/۵۲ میلی‌متر در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسـید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمـد (شکل ۳). گزارش شده است جیبرلیک اسید از طریق تشـدید جریـان مواد قندی به درون میوه و یـا ممانعـت از خـروج ایـن مـواد از درون سلول می‌گـردد (Majd and Shabrangi, 2009). جیبرلیـک اسـید آنزیم‌های اینورتاز و ان‌آد دپینـــدنت ســوربیتول دهیــدروژناز را فعـال نموده و سبب تجزیه قند در سلول‌های میوه می‌شود. تجمـع قنـدهای احیا کننده پتانسیل آب شـیره سلولی را منفی‌تر نموده و باعث جریـان بیشتر آب به درون سلول‌ها میگردد و از این طریق اندازه نهایی میـوه افزایش می‌یابد (Zomo *et al*., 2014). محمد (Mohamed, 2004) گزارش داد محلولپاشی درختان انار با اسید جیبرلیک در غلظـت‌هـای ۵۰ ، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب افزایش وزن میوه‌های انـار گردید (Ozkan *et el*., 2016). به نظر می‌رسد غلظـت‌هـای بـالای جیبرلیک اسید تاثیر بسزایی بر افزایش تقسـیم سـلولی و قطـر میـوه داشته است (Esna-Ashari and Zokaee Khosroshahi, 2009).



شکل ٤- اثر متقابل کاربرد جیبرلیک اسید× میدان مغناطیسی × دما بر طول میوه توت فرنگی رقم ’سلوا‘

Figure 4- The interaction effect of gibberellic acid× magnetic field ×temperature application on the fruit length of strawberry cv. Selva (LSD, *p≤0.05*)

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما بر برخی صفات مورفولوژیکی میوه توت فرنگی رقم ’سلوا‘

Table 1- The ANOVA results for the effect of gibberellic acid, magnetic field and temperature application on some morphological traits of strawberry fruits cv. Selva

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean square			
		وزن میوه Fruit weight	درصد کاهش وزن میوه Weight loss(%)	قطر میوه Fruit diameter	طول میوه Fruit lenght
تکرار Replicatin	2	97.97**	37.76**	64.12*	135.24*
جیبرلیک اسید Gibberellic acid	2	223.00**	477.40*	330.60**	981.80*
میدان مغناطیسی Magnetic field	2	30.25**	8.12*	41.17*	817.70*
دما Tempraure	2	6.70**	4.93**	5.43**	9.02*
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی Gibberellic acid ×Magnetic field	4	29.70**	2.02**	15.70**	96.80**
جیبرلیک اسید ×دما Gibberellic acid ×Magnetic field	4	6.95**	1.90**	4.30**	30.15**
میدان مغناطیسی ×دما Temprature× Tempraure	4	9.60**	3.42*	8.62*	85.90**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی ×دما Acid Jiberlic × Magnetic field × Tempraure	8	5.48**	54.36**	3.34**	38.83**
اشتباه Error	48	1.15	0.08	0.45	0.08
ضریب تغییرات CV (%)		7.82	4.50	2.39	7.03

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

*, ** are respectively significant at the 5%, 1% probability level and ns non-significant

درصد رطوبت میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه فاکتورهای تحقیق در سطح آماری ۱ درصد بر میزان رطوبت میوه معنی‌دار شد (جدول ۲). میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین رطوبت میوه نشان داد که بیشترین مقدار رطوبت میوه، در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۳۴/۶۵ درصد حاصل شد. کمترین مقدار رطوبت میوه نیز معادل ۱۴/۷۴ درصد در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳). درجه حرارت محیط دارای اثر قطعی بر سرعت متابولیسم محصول از جمله تنفس می‌باشد. با افزایش دما سرعت واکنش‌ها افزایش یافته و سوخت و ساز مواد ذخیره‌ای سلول افزایش می‌یابد (Zomo *et al*., 2014)، در این پژوهش نیز افزایش دما سبب کاهش مقدار رطوبت میوه گردید. ممکن است عبور میدان مغناطیسی از بافت میوه سبب تغییر در آرایش یونی آب موجود در میوه گردد و این امر باعث ایجاد تغییراتی در ماندگاری میوه ایجاد نماید (Benam, 2014).

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه فاکتورهای تحقیق در سطح آماری ۱ درصد بر اسیدیته قابل تیتراسیون معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین اسیدیته قابل تیتراسیون نشان داد که بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، در تیمارهای عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم وجود میدان مغناطیسی و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد معادل ۰/۸۹ درصد بدست آمد و این تیمارها در یک کلاس آماری قرار داشتند و با هم اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون نیز معادل ۰/۳۱ درصد در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳). مقدار اسیدهای قابل تیتراسیون، با رسیدگی محصول در ارتباط بوده و موجب طعم ترش در میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردد و با رسیدن میوه، میزان اسیدهای آلی کاهش می‌یابد، همچنین میزان اسید اسکوربیک توت فرنگی به تدریج در طول دوره ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد (Khabazipour *et al*., 2014). کاهش اسید اسکوربیک در نگهداری طولانی مدت ممکن است عمدتاً به دلیل تبدیل سریع اسید اسکوربیک اسید به دهیدرو اسید اسکوربیک باشد (Habibi, 2014). طبق گزارش باسین (Bains *et al*., 2017) کاربرد جیبرلیک اسید ۳۰۰ پی‌پی‌ام باعث تأخیر در رسیدن و مانع از کاهش مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در موز شد (Esitken and Turan, 2004). افزایش اسیدیته قابل تیتراسیون در شرایط اولیه ممکن است ناشی از بیوسنتز بیش از حد اسید اگزالیک و غلظت مالیک اسید با پیشرفت رسیدن باشد (Raso and Heinz, 2007). زومو و همکاران (Zomo *et al*., 2014) افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون را در حین فرآیند رسیدن مشاهده کردند، اما بالاترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، در میوه‌های تیمار شده با جیبرلیک اسید بود.

pH آب میوه

نتایج نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین برهمکنش دو گانه و سه‌گانه این تیمارها در سطح آماری ۱ درصد بر pH آب میوه معنی‌دار شد (جدول ۲). در مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین PH آب میوه نشان داد که بیشترین مقدار pH آب میوه، در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد معادل ۶/۹ بدست آمد. کمترین مقدار pH آب میوه نیز معادل ۴/۶۸ در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد اسید جیبرلیک با حفظ سفتی میوه و تنظیم‌آنزیم‌های رسیدگی و تأخیر در فرایند پیر شدن میوه (Zhang *et al*., 2015 و Zomo *et al*., 2014) تنفس و تولید اتیلن جلوگیری و در مجموع باعث حفظ کیفیت میوه‌ها می‌گردد. این احتمال وجود دارد که در پایان دوره نگهداری میوه‌ها به علت رسیدگی زیاد، تولید اتیلن افزایش یافته و در نتیجه میزان اسیدیته میوه کاهش شدیدتری نشان دهد. همان‌طوری که بنام (Benam, 2014) بیان نموده، اثر متقابل میدان مغناطیسی در طول مدت انبارداری بر pH میوه توت فرنگی معنی‌دار و این تیمارها سبب کاهش میزان pH آب میوه گردید و تغییر در خصوصیات وابسته به ماندگاری میوه از جمله میزان pH آب میوه در اثر عبور میدان مغناطیسی، ممکن است به دلیل ایجاد تغییر در آرایش یونی آب موجود در بافت میوه باشد (Benam, 2014).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس سطوح مختلف تیمارهای جیبرلیک اسید، دما و میدان مغناطیسی و اثر متقابل آنها بر صفات بیوشیمیایی توت فرنگی

Table 2- Results of analysis of variance of different levels of gibberellic acid, temperature and magnetic field treatments and their interaction on biochemical traits of strawberries

منابع تغییر Source of variation	درجه ازادی df	میانگین مربعات Mean square رطوبت میوه Fruit moisture (%)	اسید کل TA (%)	pH آب میوه
تکرار Replicatin		28.63**	0.19*	39.63*
جیبرلیک اسید Acid Jiberlic	2	1061.62**	0.82**	4.06**
میدان مغناطیسی Magnetic field	2	227.22**	0.27**	1.85**
دما Tempraure	2	23.24**	0.07**	0.10**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی Acid Jiberlic ×Magnetic field	2	61.93**	0.04**	0.41**
جیبرلیک اسید ×دما Acid Jiberlic ×Magnetic field	4	2.69**	0.03**	0.11**
میدان مغناطیسی ×دما Tempratrure× Tempraure	4	7.25**	0.05**	0.11**
جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی ×دما Acid Jiberlic × Magnetic field × Tempraure	4	8.93**	0.01**	0.13**
اشتباه Errore	8	0.01	0.64	0.02
ضریب تغییرات (درصد)CV%		8.48	8.82	2.46

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

*, ** are respectively significant at the 5%, 1% probability level and ns non-significant

علت افزایش pH را می‌توان به آزادسازی بیشتر برخی از ترکیبات اسیدی از جمله برخی از اسیدهای فنولی موجود در بافت داخلی میوه در اثر تغییرات دمایی نسبت داد (Ariaei *et al*.,2014). بخشابادی و همکاران (Bakhshabadi *et al*, 2017) با بررسی بهینه‌سازی و مدل سازی استخراج روغن از سیاهدانه به کمک پیش تیمارهای میدان الکتریکی پالسی و ریزموج، بیان نمودند که افزایش شدت میدان الکتریکی و تعداد پالس منجر به افزایش اسیدیته روغن گردید.

ویتامین C

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثرات ساده جیبرلیک اسید، میدان مغناطیسی و دما و همچنین اثرات متقابل دو گانه و سه‌گانه این تیمارها در سطح آماری ۱ درصد بر میزان ویتامین C معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما برای میانگین ویتامین C نشان داد که بیشترین مقدار ویتامین C، معادل ۳۴/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید، استفاده از میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. کمترین مقدار ویتامین C نیز معادل ۲۰/۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر در تیمار عدم مصرف جیبرلیک اسید، عدم استفاده از میدان مغناطیسی و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (جدول ۳). کاهش مقادیر ویتامین C بیشتر در طول مدت ذخیره قابل توجه است، بخصوص درصورتیکه میوه‌ها در محفظه‌های نفوذپذیر اکسیژن نگهداری شوند (Racuciu *et al*., 2008). جیبرلیک اسید با جلوگیری از تولید اتیلن، کاهش تنفس و به تأخیر انداختن پیری سبب جلوگیری از تجزیهٔ دیوارهٔ سلولی و در نتیجه باعث کاهش تولید رادیکال‌های آزاد می‌شود و در اثر پایین بودن میزان رادیکال‌های آزاد نیاز سلول به مصرف اسید آسکوربیک کمتر شده و در نتیجه ویتامین C در میوه حفظ می‌شود (Zhang *et al*., 2015). ژانگ و همکاران (Ozkan *et el*., 2016) بیان داشتند که استفاده از میدان الکتریکی پالسی در توان‌های کمتر، منجر به افزایش میزان ویتامین C نسبت به نمونه فاقد تیمار شد در حالی که با افزایش توان، از میزان ویتامین C کاسته شد (Zomo *et el*., 2014). علت افزایش میزان ویتامینC این بود که تیمار میدان مغناطیسی، ساختار و قطبیت ویتامین C را تغییر می‌دهد و در نتیجه فراهم کردن الکترون برای سنتز ویتامین C آسان‌تر خواهد بود (Pietruszewski, 1996).

جدول ۳- اثر متقابل جیبرلیک اسید× میدان مغناطیسی × دما بر خصوصیات فیزیولوژیکی توت فرنگی رقم 'سلوا'

Table 3- The interaction effects of gibberellic acid× magnetic field ×temperature on some physiological characteristics of strawberry fruits cv. Selva

دما Temperature	میدان مغناطیسی Magnetic field	جیبرلیک‌اسید GA_3	رطوبت میوه Fruit (٪) moisture	اسید کل TA (٪)	PHآب میوه Fruit juice	ویتامین‌ث Vita.C (100ml/mg)
		G1	6.12n	0.88b	6.13b	22.13m
	D1	G2	16.55m	0.89a	6.09b	22.24m
		G3	14.74o	0.89a	6.90a	20.50n
		G1	16.09n	0.87a	6.04b	23.37ki
H1	D2	G2	16.89l	0.80e	6.14b	24.53ij
		G3	17.05l	0.78f	6.12b	24.52ij
		G1	16.37m	0.73i	6.08b	22.14m
	D3	G2	24.12j	0.86d	6.04b	22.90l
		G3	24.15j	0.87c	6.06b	23.48k
	D1	G1	22.56k	0.75j	5.90bc	24.00j
		G2	24.22j	0.74j	5.90bc	25.24h
		G3	24.23j	0.75j	5.85bc	24.90hi
H2	D2	G1	30.51d	0.68j	5.13c	28.65g
		G2	34.65a	0.31t	4.68d	34.92a
		G3	34.62a	0.33s	5.12cd	34.33b
		G1	32.01c	0.58n	5.70c	34.17b
	D3	G2	32.38b	0.52o	5.45c	33.34d
		G3	32.4b	0.32s	5.60c	33.12d
		G1	26.45h	0.78f	5.80bc	33.04d
	D1	G2	26.37h	0.65k	5.70c	31.00f
		G3	26.05i	0.64k	5.90bc	28.43g
		G1	27.40g	0.59k	5.60c	34.03b
H3	D2	G2	28.45f	0.33s	5.55c	33.40cd
		G3	28.46f	0.34s	5.18c	33.13d
		G1	27.43g	0.43q	5.19c	31.60e
	D3	G2	29.45e	0.04p	5.44c	33.90bc
		G3	29.42e	0.52o	5.42c	25.20h

G_1 (شاهد)، G_2 (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و G_3 (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) ، S_1 (شاهد)، S_2 (۱۰ میلی‌تسلا) و S_3 (۲۰ میلی‌تسلا)، تنش H_1، H_2 و H_3 شامل ۲، ۸ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک (حروف کوچک برای اثر متقابل) در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD دارای اختلاف معنی‌دار نیستند.

In each column, means with the same letters (small letters for interactions) are not significantly different at 5% probability level using LSD test

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج نشان داد که اثـر تیمارهـای مـورد اسـتفاده در ایـن پژوهش، بر صفات مورد مطالعه معنـی‌دار بـود. میـانگین اثـر متقابـل سه‌گانه تیمار جیبرلیک اسید × میدان مغناطیسی × دما نشـان داد کـه بیشترین مقدار وزن میوه، قطر میوه، طول میوه، رطوبت میـوه، مقـدار ویتامین C و همچنین کمترین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون و مقـدار pH آب میوه در تیمار مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتـر جیبرلیـک اسـید، میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سـانتی‌گـراد حاصـل گردید. بنابراین بهترین تیمار مؤثر بر افـزایش مـدت زمـان نگهـداری توت فرنگی، تیمار ترکیبی مصرف ۵۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید و میدان مغناطیسی ۱۰ میلی‌تسلا و دمای ۸ درجه سانتی‌گراد بود کـه

این تیمار ترکیبی می‌تواند در افزایش عمر پس از برداشت توت فرنگی مؤثر باشد. از جمله تغییرات نامطلوب در زمان پس از برداشت می‌توان به کاهش استحکام و سفتی بافت میوه اشاره کرد. رسیدن موجب کاهش در سفتی میوه و در نتیجه افزایش حساسیت آن به پاتوژن‌ها در زمان نگهداری میوه می‌شود. این جنبه مهم‌ترین عامل در کاهش عمر میوه در دوره بعد از برداشت بوده و از اهمیت تجاری و اقتصادی بالایی نیز برخوردار است. لذا استفاده از تیمارهای مختلف از جمله تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش از جمله راهکارهای مهم در افزایش ماندگاری میوه توت فرنگی می‌باشد.

منابع

1. Aladjadjiyan, A. (2007). The use of physical methods for plant growing stimulation in Bulgaria. *Journal Central European Agriculture, 8*, 369-380. https://doi.org/10.2478/johr-2018-0019
2. Ariaei, H., Zare, D., Mirdamadi, S., & Naghizadeh Raisi, Sh. (2014). Sensory evaluation of strawberry juice by fuzzy logic and evaluation of its antioxidant activity during cryopreservation. *Quarterly Journal of New Food Technologies, 1*, 111-128. https://doi.org/10.22104/JIFT.2020.4361.2000
3. Andrews, P.K., & Li, S. (1995). Cell wall hydrolytic enzyme activity during development of non climacteric sweet cherry (*Prunus avium* L.) fruit. *Journal of Horticultural Science, 70*, 561-567.
4. Benam, G. (2014). Investigation of the effect of magnetic field and temperature changes on the shelf life of apricot fruit. *Technical Journal*, No. 21. Extension Office of Tabriz Agricultural Jihad Organization.
5. Bains, B.K., Sharma, M., & Singh, S.K. (2017). Quality regulation in banana through post-harvest treatment with ethylene and ethylene inhibitors. *Research Crops, 18*(4), 656-66. https://doi.org/10.5958/2348-7542.2017.00131.0
6. Bakhshabadi, H., Mirzaei, H., Ghodsvali, A., Jafari, S.M., Ziaiifar, A.M., & Bigbabaie, A. (2017). Optimizing the Eextraction process of oil from black cumin seeds by using pulsed electric field (PEF) Pretreatment. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology, 6*(3), 221-231. https://doi.org/10.1051/ocl/2019050
7. Belyavskaya, N.A. (2004). Biological effect due to weak magnetic field on plants. *Advances in Space Research, 34*, 1566-1574.
8. Brahmachari, V.S., & Rani, R. (2005). Shelf life extension in guava with ere-harvest spray of certain growth substances and polyethylene wrapping. *Haryana Journal of Horticulture Science, 34*, 36-38.
9. Cao S., Hu, Z., & Pang, B. (2010). Optimization of postharvest ultrasonic treatment of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology abbreviation*, *55*, 3-150. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.11.002
10. Çetin, V. (2002). Plant growth regulators in used fruits and vegetables. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi., 2*, 40–50.
11. Daulta, B.S., & Beniwal, V.S. (1983). Effect of time of application, chemicals and concentration of plant growth regulators on composition of fruit in sweet orange cv. Campbell Valencia. *Haryana Journal of Horticultural Sciences, 12*, 168-172.
12. Dhawi, F., Al-Khayri, J.M., & Hassan, E. (2009). Static magnetic field influence on elements composition in date palm (*Phoenix dactylifera* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences (Online), 5*, 161-167.
13. Efe, L., Mustafayv, S.A., & Kili, F. (2004). Stimulative effect of high voltage electrical current on earliness, yield and fiber quality of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences, 7*, 494-502.
14. El-Kosavi, S. (2009). Effect of NAA, GA_3 and Cytophex spraying on Samany and Zaghloul date palm yield, fruit retained and characteristics. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants, 1*, 49-59.
15. El-Otmani, M., & Coggins, C.W. (19910. Growth regulator effects on retention of quality of stored citrus fruits. *Scientia Horticulturea, 45*(3-4), 261-272.
16. Esitken, A., & Turan, M. (2004). Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Camarosa). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science, 54*(3), 135-139.
17. Esna-Ashari, M., & Zokaee Khosroshahi, M.R. (2009). *Postharvest Physiology and Technology*. Abu-Ali Sina University Press. P. 658. (In Persian)
18. Facteau, T.J., Rowe, K.E., & Chestnut, N.E. (2003). Response patterns of gibberellic acid- treated sweet cherry fruit at different solids leaves and leaf/ fruit ratio. *Scientia Horticulture, 27*, 257-262.
19. Florez, M., Carbonell, M.V., & Martinez, E. (2007). Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: Effects on germination and early growth. *Environmental Experimental Botany, 59*, 68-75. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.10.006
20. Habibi, M. (2014). *Investigation of the effects of gibberellic acid in plants*. Promotional Publication, No. 32. Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research Center.
21. Khabazipour, A., Eftekhari, S., A.Moalemi, N., & Mortazavi, S.M.H. (2014). *The effect of foliar application of gibberellic acid and paclobutrazol on vegetative and reproductive growth of two strawberry cultivars*. Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products.

22. Khan Kashi, L., Tabatabai Klor, R., & Hashemi, S.J. (2019). Investigation of the effect of polyethylene thickness, gas composition and temperature on shelf life and quality of strawberries. *Research and Innovation in Food Science and Industry*, 377-392. https://doi.org/10.22101/JRIFST.2019.02.23.743
23. Khoshkhoi, M., Sheibani, B., Rohani, I., & Tafazzoli, E. (2007). *Principles of Horticulture*. Shiraz University Press. Shiraz. (In Persian)
24. Kordas, L. (2002). The effect of magnetic fieldon growth, development and the yield of spring wheat. *Polish Journal of Environmental Studies*, *11*, 527-530.
25. Mohamed, A.K.A. (2004). Effect of gibberellic acid (GA_3) and benzyladinine (BA) on splitting and quality of Manfalouty pomegranate fruits. *Assuit Journal of Agricultural Science*, *35*, 11-21.
26. Ozkan, Y., Ucar, M., Yildiz, K., & Ozturk, B. (2016). Pre-harvest gibberellic acid (GA_3) treatments play an important role on bioactive compounds and fruit quality of sweet cherry cultivars. *Scientia Horticulturae*, *211*, 358-362. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.019
27. Perez, F., & Gomez, M. (2000). Possible role of invertase in the gibberellic acid berry- sizing effect in sultana grape. *Journal of Plant Growth Regulation*, *69*, 111-116.
28. Phalsaphy, P. (2012). National Strawberry Festival in Sanandaj. Available from: URL http://www.kurdpress.com/Fa/NSite/FullStory/New s. Accessed May 23. (In Persian)
29. Pietruszewski, S. (1996). Effects of magnetic biostimulation of wheat seeds on germination, yield and proteins. *International Agrophysics*, *10*, 51-56.
30. Rabiee V., Nasiri L., Hamzehzad, K.H., & Hemati, S. (2009). Investigation of the effects of radiation and calcium chloride on the quality and storage life of peach fruit of saffron cultivar. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, *40*(4).
31. Racuciu, M., Creanga, D., & Horga, I. (2008). Plant growth under static magnetic field influence, *Romania Journal Physics*, *53*, 353-359.
32. Raso, J., & Heinz, V. (2007). Pulse electric fields technology for the food industry. *Fundamentals and Applications*, *3*(8), 144-146.
33. Riberio, C., Vicente, A.A., Teixeira, J.A., & Miranda, C. (2007). Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biology and Technology Abbreviation*, *44*, 63-70.
34. Majd, A., & Shabrangi, A. (2009). *Effect of seed pretreatment by magnetic field on seed germination and ontogeny of agricultural plants*. Progress in Electromagnetic Symposium, Beijing, China, 23-27 March: 1137-1141.
35. Marinkovic, B., Ilin, Z., Marinkovic, J., Culibrk, M., & Jacimovic, G. (2002). *Corn and sugarbeet yield in function variable electromagnetic field*. Biophysics in Agriculture Production, University of Novi Sad, Tampograf. 154p.
36. Saberi, M., Tawili, A., & Miri, M. (2014). The effect of different levels of gibberellic acid and salicylic acid on improving the germination of *Festuca arundinacea* under stress with allopathic compounds. *Journal of Natural Environment, Natural Resources of Iran*, *67*(4), 424-415.
37. Sindhu, S., & Singhrot, R.S. (1993). Effect of pre-harvest spray of growth regulator and fungicides on the shelf life of Lemon cv. Baramasi. *Haryana Journal of Horticulture Science*, *22*, 204-206.
38. Watanabe, M., Segawa, H., Murakami, M., Sagawal, S., & Komor, S. (2008). Effects of plant growth regulators on fruit set and fruit shape of parthenocarpic apple fruits. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, *77*, 350-357.
39. Wszelaki, A.L.M. (2003). Effect of combinations of hot water dips biological control and controlled atmospheres for control of gray mold on harvested strawberries. *Postharvest Biology and Technology Abbreviation*, *27*, 64-255.
40. Zhang, Z., Zeng, X., Brennan, C., Brennan, M., Han, Z., & Xiong, X. (2015). Effects of pulsed electric fields (PEF) on vitamin C and its antioxidant properties. *International Journal of Molecular Sciences*, *16*, 24159-24173. https://doi.org/10.3390/ijms161024159
41. Zomo, S.A, Ismail, S.M., Jahan, M., Kabir, K., & Kabir, M.H. (2014). Chemical properties and shelf life of Banana (*Musa sapientum* L.) as influenced by different postharvest treatments. *Journal of Agricultural Science*, *12*(2), 6-17. https://doi.org/10.3329/agric.v12i2.21725